

## L'agriculture irriguée dans le Sahel ouest-africain

### Diversité des pratiques et des performances

Bruno Barbier<sup>1,2,3</sup>  
Hervé Ouedraogo<sup>4</sup>  
Youssef Dembélé<sup>5</sup>  
Hamma Yacouba<sup>3</sup>  
Boubacar Barry<sup>6</sup>  
Jean-Yves Jamin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Cirad  
UMR G-Eau  
01 BP 596  
Ouagadougou 01  
Burkina Faso  
<bbarbier@cirad.fr>

<sup>2</sup> Cirad  
UMR G-Eau  
73, rue Jean-François Breton  
TA C-90/15  
34398 Montpellier cedex 5  
France  
<jamin@cirad.fr>

<sup>3</sup> 2iE  
GVEA  
01 BP 594  
Ouagadougou 01  
Burkina Faso  
<hamma.yacouba@2ie-edu.org>

<sup>4</sup> Arid  
s/c 2iE  
01 BP 594  
Ouagadougou 01  
Burkina Faso  
<herve.ouedraogo@yahoo.fr>

<sup>5</sup> Inera  
04 BP 8645  
Ouagadougou 04  
Burkina Faso  
<yldembele@yahoo.fr>

<sup>6</sup> IWMI  
PMB CT 112  
Cantonments  
Accra  
Ghana  
<b.barry@cgiar.org>

### Résumé

En Afrique de l'Ouest sahélienne, l'irrigation des terres recouvre une grande diversité de systèmes techniques et de pratiques sociales. Nous donnons ici un aperçu des options techniques existantes (décrue, bas-fond aménagé, submersion libre ou contrôlée, contrôle total de l'eau, avec ou sans pompage, sur de grands et de petits périmètres) selon une typologie développée par des experts de cinq pays sahéliens. Les performances de ces différents systèmes sont très diverses et en constante évolution. Actuellement les décideurs relancent la grande irrigation en recourant aux investisseurs privés, nationaux ou étrangers. Ils relancent aussi la petite irrigation privée, considérée plus dynamique que les périmètres villageois. Partout, la raréfaction des ressources en eau et la compétition croissante entre usagers imposent au secteur agricole de mieux valoriser l'eau d'irrigation. Néanmoins cette contrainte sociale et politique sur l'utilisation de l'eau est encore peu prise en compte par les États qui effectuent des attributions foncières de grande envergure. Leur objectif prioritaire est en effet d'assurer à tout prix la sécurité alimentaire de leur population, de plus en plus urbaine.

**Mots clés :** gestion des eaux ; méthode d'irrigation ; Sahel.

**Thèmes :** eau ; économie et développement rural ; territoire, foncier, politique agricole et alimentaire.

### Abstract

#### Irrigation in West-African Sahel. Diversity of practices and levels of performance

Irrigation in Sahelian West African countries covers a wide variety of systems and practices. In this paper, we discuss various technical and managerial options including free or controlled submersion, improved inland valleys, flood recession cropping, and full control in small and large irrigation schemes through a classification developed by national experts in five Sahelian countries. Governments are currently promoting two strategies. One is based on large schemes, with foreign or national private investment. The other is based on small private irrigation approaches. Water constraints are not very strongly taken into account, as the priority is to develop new schemes in order to reach food security for fast growing cities.

**Keyword:** irrigation methods; Sahel; water management.

**Subjects:** economy and rural development; territory, land use, agricultural and food production policy; water.

La production agricole des pays sahéliens ouest-africains est non seulement très variable d'une année à l'autre, mais aussi souvent insuffisante pour couvrir les

besoins alimentaires de leurs populations. Les importations de blé, riz, huile, lait et sucre sont massives (un million de tonnes de céréales sont importées chaque année par l'Afrique

Pour citer cet article : Barbier B, Ouedraogo H, Dembélé Y, Yacouba H, Barry B, Jamin JY, 2011. L'agriculture irriguée dans le Sahel ouest-africain. *Cah Agric* 20 : 24-33. doi : 10.1684/agr.2011.0475

Tirés à part : B. Barbier

de l'Ouest) et représentent des sorties monétaires de 3 milliards de dollars<sup>1</sup> (FAOSTAT, 2010). Même si les famines sont devenues exceptionnelles, l'insécurité alimentaire reste au cœur des discours politiques sur le Sahel depuis la crise alimentaire de 1972-1973. L'envolée des prix mondiaux en 2008-2009 a réactivé la priorité accordée à l'indépendance alimentaire (Janin, 2010). L'irrigation est considérée comme le meilleur moyen d'augmenter la production agricole tout en réduisant sa vulnérabilité à la variabilité climatique (Rosegrant et Cline, 2003 ; Diouf, 2008 ; Cilss, 2010). Alors que le développement des surfaces irriguées devrait être très faible dans la plupart des pays du monde dans les prochaines décennies, l'Afrique est le seul continent où les prévisionnistes pensent qu'elle devrait continuer à fortement progresser, du fait de la demande alimentaire croissante et d'un potentiel encore important (Paillard *et al.*, 2010 ; Turrall *et al.*, 2010). Toutefois, l'investissement pour l'irrigation est coûteux et sa durabilité incertaine du fait de problèmes importants de gestion et d'entretien des aménagements (Turrall *et al.*, 2010).

Dans le Sahel ouest-africain, les formes d'irrigation sont multiples, en termes de taille des bassins irrigués, de maîtrise de l'eau, de saisonnalité ou de mode de gestion. On observe aussi une grande diversité de pratiques, de coûts et de performances. Décideurs et bailleurs de fonds s'interrogent sur le type et la taille des aménagements à promouvoir (petite ou grande irrigation), leur mode de gestion (collectif ou individuel) ou les cultures à favoriser (riziculture ou diversification). Cette réflexion s'inscrit dans un contexte de raréfaction de l'eau, de concurrence croissante entre usages agricoles et non agricoles et d'émergence d'un souci de protection des zones humides naturelles (Zwarts *et al.*, 2005 ; ABN, 2007 ; Lemoalle et de Condappa, 2009 ; Venot et Cecchi, 2011).

Après un bref historique de l'irrigation au Sahel, nous présentons ici la diversité des systèmes irrigués actuels et donnons un aperçu de leurs coûts et de leurs performances.

## Des irrigations anciennes mais un développement récent

L'apparition d'une riziculture utilisant la crue du Niger remonte à 1 500 ans av. J-C (Portères, 1950). Des techniques d'irrigation existent en effet depuis des siècles dans les oasis sahariennes, les polders du lac Tchad, les *ouadis* du Tchad et du Niger ou les rizières des mangroves sénégalaises, d'où elles ont essayé pour créer les rizicultures américaines (Carney, 2001 ; Carney, 2003). Dans les vallées du Sénégal et du Niger, l'irrigation avec maîtrise de l'eau sur de grandes surfaces (*tableau 1*) est apparue au début du xx<sup>e</sup> siècle. La France cherchait à y cultiver du coton pour l'exportation, puis aussi du riz, suite aux famines liées aux sécheresses de 1902-1903 et 1913-1914. Cette forme d'irrigation ne fut pas proposée comme une amélioration des systèmes agraires existants : l'Administration coloniale l'imposa à leur place aux paysans, autochtones ou déplacés (Jamin, 1994).

Les années 1930 virent l'aménagement des casiers irrigués du fleuve Sénégal et de l'Office du Niger. Des cuvettes furent aménagées pour la riziculture en submersion contrôlée le long du Niger (Mopti, Ségou, Tillabéri), du Logone et du Chari. Les polders traditionnels du lac Tchad furent endigués. Après la seconde guerre mondiale, les aménagements reprirent : casiers de Bongor et Yagoua sur les rives tchadiennes et camerounaises du Logone, passage au pompage pour sécuriser l'irrigation au Sénégal (Guillaume, 1960 ; Boutillier *et al.*, 1962), début du développement de l'irrigation dans le nord du Nigeria (Barbier et Thompson, 1998).

Les indépendances entraînèrent une relance de la grande irrigation pour essayer de garantir l'approvisionnement en riz de capitales en extension rapide. Avec les épisodes de sécheresse des années 1970 et 1980, les périmètres irrigués villageois (PIV) se sont développés pour assurer la

survie locale, même si les coûts liés à l'irrigation rendaient illusoire une irrigation dédiée à l'autoconsommation, sauf quand des revenus migratoires permettaient de les prendre en charge. Les petits barrages et les aménagements de bas-fonds se sont multipliés (Payen et Gillet, 2007). Les grands aménagements ont aussi profité de cette dynamique, qui a poussé à leur réhabilitation et à leur extension, y compris dans des régions jusque-là peu aménagées comme le nord du Nigeria (Diemer et van der Laan, 1987 ; Shettima, 1997 ; Barbier et Thompson, 1998).

Le mouvement de libéralisation économique des années 1990 s'est traduit par une révision drastique des lettres de mission des sociétés d'État chargées de l'irrigation. Auparavant omnipotentes (aménagement, foncier, irrigation, transformation et commercialisation, crédit, etc.), elles doivent transférer de nombreuses fonctions aux paysans et voient leur rôle limité à la gestion des grands ouvrages (Jamin *et al.*, 2005). Parallèlement, les petits périmètres maraîchers privés se sont multipliés, comme au Burkina Faso (Lemoalle et de Condappa, 2009). L'arrivée du secteur privé dans la grande irrigation a été plus tardive : même si certains grands périmètres privés datent des années 1970 (Compagnie sucrière sénégalaise par exemple), l'acquisition massive de très grandes surfaces irrigables par des capitaux privés, nationaux ou étrangers, ne s'est développée qu'après la crise alimentaire de 2007-2008 (Brondeau, 2011).

## Des modalités d'irrigation variées

Afin de ramener la forte diversité héritée de l'histoire à quelques cas simples et comparables, l'Association régionale de l'irrigation et du drainage en Afrique de l'Ouest et du Centre (ARID, 2004), a proposé une typologie des systèmes irrigués pour cinq pays sahéliens : Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger et Sénégal. En combinant des critères d'investissement, de gestion, de maîtrise de l'eau et de taille, elle différencie 9 types de systèmes (*tableaux 1 et 2*). Parmi les systèmes en maîtrise totale de l'eau (MTE), la

<sup>1</sup> FAOSTAT, 2010. <http://faostat.fao.org/>

**Tableau 1. Description de différents types de systèmes irrigués en Afrique de l'Ouest sahélienne.**

Table 1. Description of several types of irrigated systems in the Sahel.

Type de système	Caractéristiques
Périmètre irrigué public grand ou moyen	Superficie de plus de 100 hectares, irriguée depuis une ressource abondante (fleuve, retenue, lac), par pompage ou dérivation. Réseau de surface, riziculture dominante, mais petits espaces de diversification.
Périmètre irrigué villageois public	Quelques dizaines d'hectares, attribués à de nombreux petits agriculteurs. Irrigation depuis une rivière ou une retenue, par pompage ou dérivation. Riziculture dominante, complétée par décrue et/ou pluvial. Quelques puits ou forages en oasis ou en horticulture.
Petit périmètre irrigué communautaire	Quelques dizaines d'hectares, aménagés sommairement à faible coût. Irrigation par pompage, par dérivation, ou par branchement sur des ouvrages d'État (barrages au Burkina Faso, grands réseaux au Sénégal ou à l'Office du Niger). Riziculture dominante.
Petit périmètre irrigué individuel	Souvent inférieurs à 1 hectare. Petit agriculteur périurbain ou proche d'une route. Pompage individuel, souvent manuel, dans une retenue, une rivière ou une nappe peu profonde. Évolution possible vers des petites motopompes et l'irrigation localisée.
Petit ou moyen périmètre irrigué commercial	Quelques dizaines d'hectares, aménagés avec des capitaux d'origine non agricole (fonctionnaire, homme d'affaires, migrant). Ouvriers salariés. Émergence d'irrigation sous-pression, avec aspersion ou goutte-à-goutte, pour une économie de main-d'œuvre.
Grand périmètre irrigué agro-industriel	1 000 à 20 000 hectares. Firma agro-industrielle, à capitaux nationaux ou étrangers. Production à haute valeur transformée sur place (canne à sucre, tomate industrielle, fruits/légumes exportés). Irrigation depuis un fleuve. Techniques sophistiquées : planage guidé au laser, aspersion, goutte-à-goutte, serres. Main-d'œuvre très qualifiée.
Submersion contrôlée en bord de fleuve	Aménagement sommaire de cuvettes en bord de fleuve. Riz flottants ou à paille longue au Mali (Ségou, Mopti) et en Guinée (Kankan). Cultures tributaires de la pluie en début de cycle, puis de la crue (qui doit coïncider avec la croissance des plantes).
Bas-fonds en submersion contrôlée	Quelques dizaines d'hectares. Aménagement simple, prise au fil de l'eau ou seuil déversant. Riziculture en saison des pluies. En zones plus sèches, épandage des crues par digue filtrante pour apport d'eau de complément aux cultures pluviales (sorgho, maïs). Nappe utilisable en saison sèche pour du maraîchage (puisard).
Décrue	Zone de battement de fleuve, lac ou retenue. Cultures (sorgho, maïs) ou pâturages (bourgoutières) soumis au cycle crue-décrue (eau stockée dans le sol et remontées capillaires). Décrue parfois contrôlée par barrage (Mauritanie) ou endiguement (lacs du Mali).

typologie distingue les grands périmètres d'initiative publique et les petits périmètres, d'initiative publique, communautaire, ou individuelle. Au sein des périmètres privés agro-industriels, elle distingue aussi les petits des grands. La taille et le mode de financement de l'aménagement conditionnent en effet beaucoup son fonctionnement. Parmi les systèmes à maîtrise partielle de l'eau (MPE), elle distingue la submersion contrôlée, les bas-fonds aménagés, et la décrue, contrôlée ou libre. Du fait de l'absence de maîtrise, même partielle, de l'eau, la submersion libre n'est pas incluse dans cette typologie malgré son importance dans la vallée du Niger (Gallais, 1984 ; Marie *et al.*, 2007).

Si ces différents systèmes ont été décrits depuis longtemps (Guillaume, 1960 ; Boutillier, 1962), on connaît mal l'importance des surfaces concernées par les systèmes traditionnels, l'irrigation informelle ou les petits aménagements de bas-fonds (Payen et Gillet, 2007). De plus, les surfaces cultivées au sein des aménagements en MPE varient fortement d'une année à l'autre en fonction des crues. Même au sein des aménagements en MTE, il est souvent difficile de savoir quelles sont les surfaces réellement exploitées aux différentes saisons (Raes *et al.*, 1994). L'Association régionale pour l'irrigation et le drainage (ARID, 2004) a tenté d'estimer ces surfaces à dire d'experts (tableau 2 et figure 1).

En termes de superficie, les systèmes de décrue et de submersion contrôlée dominent. Les cultures de décrue sont très pratiquées dans la boucle du Niger et sur les deux rives du Sénégal, même si les sécheresses, puis la régulation par les barrages, ont réduit les crues et donc les surfaces inondées cultivables en décrue. La submersion contrôlée est essentiellement pratiquée le long du Niger, dans son cours supérieur en Guinée et au Mali, et dans son delta intérieur. Mais elle existe aussi dans une multitude de petits bas-fonds répartis dans tout le Sahel (Windmeijer *et al.*, 2002 ; Venot et Cecchi, 2011). Dans la sous-région, l'irrigation en MTE représente moins de 1 % des terres cultivées (Frenken, 2005 ; Aqstat, 2005).

**Tableau 2. Caractéristiques des différents types de systèmes irrigués au Sahel (ARID, 2004).**

Table 2. Characteristics of the different types of irrigated systems in the Sahel (ARID, 2004).

Type de système	Investissement	Gestion	Maîtrise de l'eau	Spéculation	Main-d'œuvre
Périmètre irrigué public grand ou moyen	État/bailleur	OP + État	Totale	Riz, polyculture	Familiale + salariée
Périmètre irrigué villageois public	État/bailleur/ONG	OP	Totale	Riz, céréales, polyculture	Familiale
Petit périmètre irrigué communautaire	Groupe d'exploitants	OP	Totale	Riz, céréales, polyculture	Familiale
Petit périmètre irrigué individuel	Exploitant individuel	Exploitant	Totale	Céréales, fruits, maraîchage	Familiale
Petit ou moyen périmètre irrigué commercial	Entrepreneur particulier	Salarié	Totale	Riz, fruit, maraîchage	Salariée
Grand périmètre irrigué agro-industriel	Firme agro-industrielle	Salarié	Totale	Canne, fruits, maraîchage	Salariée
Submersion contrôlée en bord de fleuve	État/bailleur/ONG	OP + État	Partielle	Riz	Familiale
Bas-fonds en submersion contrôlée	État/bailleur/ONG	OP (+ État)	Partielle	Riz, pomme de terre, oignon	Familial
Décru	Exploitant individuel	Exploitant	Partielle	Sorgho, riz, fourrages	Familial

OP : organisation paysanne ; ONG : organisation non gouvernementale.

2010). Les aménagements (et donc les investissements) se concentrent au Mali, avec près de 100 000 hectares pour l'Office du Niger (Keita *et al.*, 2002 ; ABN, 2007), et dans la vallée du Sénégal (Raes *et al.*, 1994). Les quelques grands périmètres agro-industriels privés sont des casiers sucriers (Faire Dupaigre *et al.*, 2004). Mais les acquisitions de grandes surfaces irrigables par certains pays manquant de terres se développent depuis peu, notamment dans la zone de l'Office du Niger (Brondeau, 2011).

La petite irrigation en MTE est en développement rapide partout (ARID, 2004). Depuis le gel des investissements publics dans les années 1990, les individus et les communautés ont étendu eux-mêmes les surfaces, notamment dans les zones périurbaines (Payen et Gillet, 2007). Les investissements réalisés par des urbains aisés s'accroissent et provoquent parfois des conflits fonciers avec les villageois (Ouedraogo, 2003).

On observe de fortes différences de développement de l'irrigation selon

les pays. Le Mali a, de loin, les plus grandes surfaces irriguées de la sous-région ; il promeut le passage de la submersion libre à un contrôle partiel ou total de l'eau, tout en maintenant un appui aux rizières pluviales et de bas-fonds (République du Mali, 2008 ; République du Mali, 2009). Le Burkina Faso, qui n'a pas d'aussi grands fleuves, a construit environ 1 700 petits barrages (contre 800 au Mali), mais qui sont encore peu utilisés pour l'irrigation (République du Burkina Faso, 2008 ; Venot et Cecchi, 2011). L'aménagement des bas-fonds concerne surtout les zones méridionales, à climat plus soudanien, du Burkina Faso, du Mali et du Sénégal (Windmeijer *et al.*, 2002). En irrigation par pompage, le Sénégal a d'abord privilégié les grands et les petits périmètres publics (Diemer et van der Laan, 1987), même si le casier sucrier privé de la CSS s'est installé dès le début des années 1970 ; depuis le milieu des années 2000, il a mis en place, dans le delta, un partenariat public-privé, qui prend plus la forme d'une coexistence que d'un réel parte-

nariat (Seck, 2009). Dans un contexte social très spécifique et conflictuel, la Mauritanie a favorisé, dès le milieu des années 1980, le développement de grands périmètres privés dans le delta, la moyenne vallée restant plutôt occupée par des périmètres publics (Schmitz, 1993 ; Haefele *et al.*, 2001). Le Niger a encouragé des formes très variées de petits périmètres, individuels ou collectifs, périurbains ou oasiens, dans les vallées fossiles ou sur le fleuve Niger, exploitant ainsi ses différents types de ressources (République du Niger 2008 ; ARID, 2004).

L'Autorité du bassin du Niger (ABN, 2007) envisage des plans ambitieux d'expansion des surfaces irriguées. La surface rizicole en MTE pourrait quadrupler, en hivernage et en saison sèche ; le maraîchage et la canne à sucre devraient aussi se développer. Avec les projets de nouveaux barrages hydroélectriques, la régulation du fleuve écrêtera les crues et soutiendra l'étiage ; les surfaces cultivées en décrue ou en submersion libre devraient alors régresser, tandis que l'irrigation pourrait

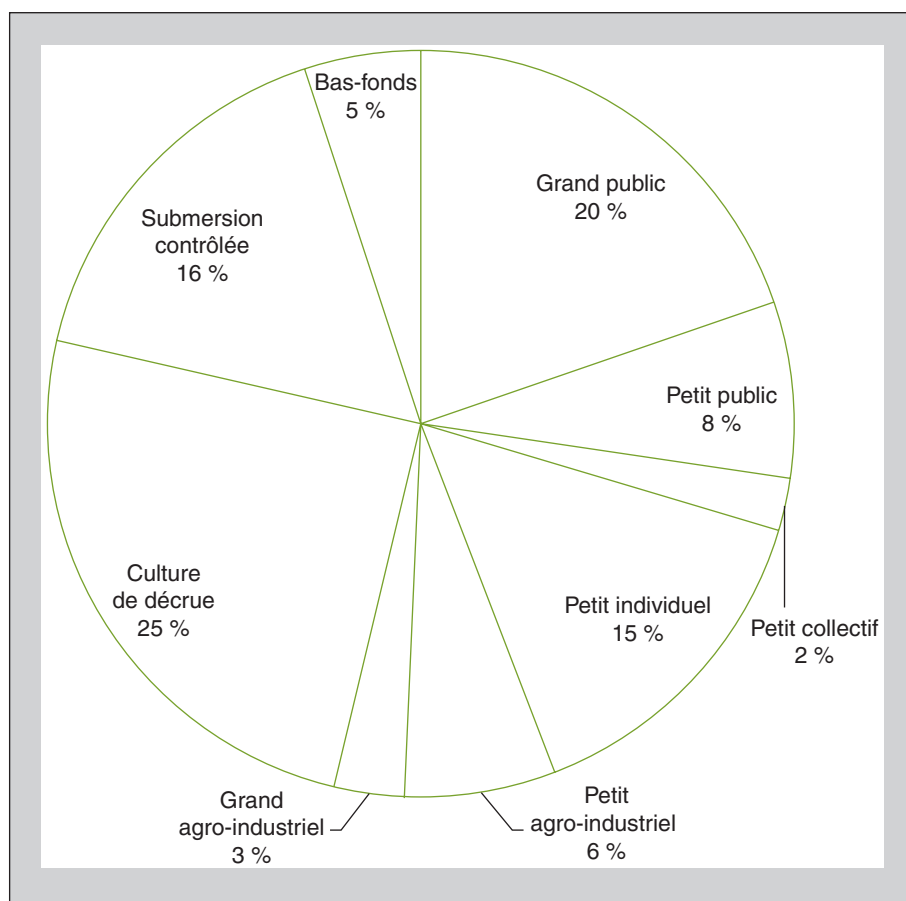


Figure 1. Part des surfaces des différents systèmes d'irrigation au Sahel (ARID, 2004).

Figure 1. Proportion of irrigation systems areas in the Sahel (ARID, 2004).

encore se développer en saison sèche (Zwarts *et al.*, 2005). On assisterait ainsi, pour le fleuve Niger, à un transfert de potentiel productif, à l'intérieur même du Mali, du delta vif vers l'Office du Niger. Toutefois, le développement de l'irrigation dans ce pays a aussi des conséquences internationales importantes : d'une part, il dépend en partie des aménagements qui seront faits en amont, en Guinée ; d'autre part, il aura un impact, en aval, sur la disponibilité en eau pour le Niger et le Nigeria, qui s'en sont inquiétés. Même si, pour l'instant, l'ABN donne encore peu lieu à des affrontements ouverts entre les différents États intéressés, l'exemple de l'Organisation pour la mise en valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) montre que les enjeux sur l'irrigation et l'hydroélectricité peuvent amener certains États à faire pression pour limiter le développement de leurs voisins. Or, la région compte 25 cours d'eau transfrontaliers (Niasse, 2004).

## Performances techniques et économiques

On dispose de nombreuses données (rendements, coûts de production, revenus, etc.) sur la riziculture en MTE (IIMI, 1997 ; Sally, 1997 ; Ducrot *et al.*, 2002 ; Rigourd *et al.*, 2002 ; ARID, 2004 ; IPTRID, 2004 ; Frenken, 2005 ; Inocencio *et al.*, 2007 ; Bélières, 2011). Les performances sont très variables selon les casiers (*tableau 3*) ; elles sont souvent inférieures aux prévisions des études de faisabilité et les taux de rentabilité interne restent modestes (ABN, 2007). En termes agronomiques, le degré de maîtrise de l'eau influence fortement le rendement des rizières (*tableau 3*). Il est difficile de dépasser 2,5 t/ha de paddy en MPE alors qu'en MTE, les

rendements peuvent dépasser 5 t/ha/culture, avec une double culture dans certains casiers. Les paysans bénéficiant d'une bonne maîtrise de l'eau ont ainsi notablement amélioré leurs rendements ces dernières années (IPTRID, 2004 ; Inocencio, 2007), notamment à l'Office du Niger où le rendement du riz est passé de 1,5-2 t/ha en 1985 à 5-6 t/ha en 2000, avec une double culture sur une partie des surfaces (Bonneval *et al.*, 2002). Mais ces progrès sont souvent très liés aux conditions locales : politiques publiques, projets, etc. Les causes les plus fréquentes de ces progrès sont la fonctionnalité des aménagements, l'apprentissage progressif de l'irrigation, une meilleure commercialisation et/ou organisation des producteurs (Abernethy et Sally, 1999 ; Legoupil *et al.*, 1999 ; Bonneval *et al.*, 2002 ; Bethemont, 2003 ; IPTRID, 2004 ; Poussin *et al.*, 2005).

Les revenus des paysans en MTE, qui ne prennent en général pas en compte l'amortissement des aménagements, sont plus élevés que ceux obtenus en pluvial dans les mêmes zones. L'irrigation constitue donc un moyen efficace pour réduire la pauvreté, même si, de fait, les systèmes d'activité paysans associent très souvent plusieurs systèmes de culture (irrigué, pluvial, décrue), élevage et activités extra-agricoles, notamment migratoires (Coulibaly *et al.*, 2006 ; Vidal *et al.*, 2006 ; Dillon, 2008 ; Nkonya *et al.*, 2008 ; Adamczewski *et al.*, 2011 ; Bélières *et al.*, 2011).

Augmenter les performances techniques des cultures irriguées reste encore possible, puisqu'en riziculture le potentiel est supérieur à 8 t/ha. D'ailleurs, un nombre croissant de riziculteurs récolte plus de 7 t/ha de paddy (IPTRID, 2004). Les auteurs s'accordent pour dire qu'il n'y a pas de solution technique standard, mais plutôt une synergie entre avancées techniques, organisationnelles et sociales (Abernethy et Sally, 1999 ; Legoupil *et al.*, 1999 ; Poussin et Boivin, 2002 ; Poussin *et al.*, 2005 ; Vandersypen *et al.*, 2006). Le manque d'expérience des irrigants en matière d'organisation des groupements d'irrigation, de distribution de l'eau, d'entretien des infrastructures, d'approvisionnement en matériels et en intrants ou de commercialisation, reste un frein puissant. Il est en partie dû au transfert, assez brutal et sans concertation, de



**Tableau 3. Quelques performances technico-économiques des 9 types de systèmes irrigués.**

Table 3. Some levels of performance of the 9 irrigated systems.

Type de système	Investissement (F CFA/ha)	Rendements paddy (t/ha) (1)	Prélèvements bruts m <sup>3</sup> /ha/campagne (2)	Productivité de l'eau (kg paddy/m <sup>3</sup> ) (rapport 1/2)
Office du Niger hivernage	> 5 000 000	5 à 6	25 000	0,20
Office du Niger saison sèche		4 à 5	87 000	0,08
Petits périmètres publics	< 2 000 000	3 à 5	13 000	0,23 à 0,38
Périmètres irrigués villageois	< 500 000	5,5	?	?
Petits périmètres privés Mali	± 2 000 000	5.5	?	?
Submersion contrôlée Mopti	400 000 à 600 000	0,8 à 2,5	5 400	0,15 à 0,46
Submersion contrôlée Ségou		0,8 à 2,5	9 000	0,08 à 0,27
Bas-fonds	< 1 000 000	0,5 à 2	6 000	0,25

Source : ARID, 2004 ; ABN, 2007 ; Vandersypen *et al.*, 2006. 655, 96 F CFA = 1 euro.

responsabilités depuis les sociétés d'État vers les producteurs (Abernethy et Sally, 1999 ; Jamin *et al.*, 2005). Si, à l'Office du Niger ce transfert est plutôt considéré comme un succès (Bonneval, 2002 ; Coulibaly *et al.*, 2006), il s'est ailleurs révélé décevant, comme dans la vallée du Sourou (Bethemont *et al.*, 2003), et reste souvent problématique pour la gestion de l'eau, même à l'Office du Niger (Vandersypen *et al.*, 2008). Le renforcement des compétences des producteurs dans les différentes fonctions que requiert l'irrigation reste à développer (Legoupil *et al.*, 1999 ; Compaoré *et al.*, 2002 ; Vidal *et al.*, 2006). Les difficultés de gestion des périmètres collectifs, mais aussi la recherche de nouveaux investisseurs, poussent les bailleurs de fonds et les pays à privilégier l'irrigation individuelle ou agro-industrielle (Banque mondiale, 2009 ; Brondeau, 2011). En submersion contrôlée, les performances sont mitigées (République du Mali, 2009), même si l'utilisation croissante de barrages seuils ou de motopompes permet de corriger les faibles crues. Grâce à cette meilleure maîtrise de l'eau, la production agricole pourrait être concentrée sur une surface plus réduite en préservant ainsi les pâturages et la biodiversité en bordures des fleuves et des bas-fonds. Les pâturages inondés, par exemple les bourgoutières, peuvent produire 20 à 30 t/ha de matière sèche

d'excellent fourrage, ce qui, en termes énergétiques, correspond à une performance supérieure à celle de la riziculture inondée (Marie *et al.*, 2007). En termes économiques, la compétitivité de la riziculture irriguée est l'objet de nombreux débats (Faivre Dupaigre *et al.*, 2004). Si les faibles taxes à l'importation dans la zone de l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA) et la surévaluation du franc CFA (arrimé à l'euro) pénalisent la production rizicole locale, les évolutions inquiétantes du marché mondial poussent les pays sahéliens à rechercher la sécurité alimentaire. Celle-ci est quasiment atteinte au Mali, où la riziculture irriguée profite de l'absence de coûts de pompage et de coûts de mécanisation peu élevés (en raison du choix historique, favorisé par l'enclavement, de la traction animale et de la fabrication locale des outils), ainsi que des coûts d'acheminement élevés du riz importé depuis les ports de Dakar et Abidjan. Elle est plus difficile à atteindre ailleurs, notamment au Sénégal où il y a pourtant peu d'alternatives à la culture irriguée pour répondre localement à la demande urbaine en riz.

Même si le riz est de loin la culture irriguée la plus répandue, les autres cultures irriguées (de diversification par rapport au riz) progressent. Mais, à l'exception de la canne à sucre, elles

échappent largement aux statistiques, parce qu'elles ne concernent souvent que de petites surfaces. De plus, elles sont fréquemment entreprises par les jeunes et les femmes, et pas seulement par les chefs de famille qui sont en général les seuls considérés comme agriculteurs par les organisations professionnelles et l'Administration. Enfin, le suivi agricole dans les pays sahéliens concerne essentiellement les céréales – stratégiques pour leur sécurité alimentaire et dont les offices de développement contrôlaient autrefois étroitement la commercialisation – ainsi que les cultures industrielles comme le coton.

L'arboriculture fruitière se développe partout dans les bas-fonds (Ahmadi et Teme, 1998), mais plus sous la forme de plantations de bordure de bas-fonds que de grands vergers irrigués. La canne à sucre est cultivée en régie par de grandes entreprises maintenant toutes privatisées, au Mali, au Sénégal et au Burkina Faso. Mais elle consomme beaucoup d'eau, en particulier en saison sèche. Elle est aussi peu compétitive au niveau mondial (Faivre Dupaigre *et al.*, 2004), ce qui menace une agro-industrie fortement pourvoyeuse d'emplois salariés. Cela amène les États à protéger leur marché. Le différentiel de prix avec le marché mondial entraîne alors un important commerce transfrontalier illégal, par exemple entre la Mauritanie et le

Sénégal. La canne à sucre connaît ces dernières années un regain d'intérêt, du fait de grands projets de production de bioéthanol, en particulier au Mali, mais leur intérêt économique, écologique et social est fortement discuté (Brondeau, 2011).

L'avenir du maraîchage irrigué apparaît plus prometteur, puisque l'urbanisation des pays sahéliens et de leurs voisins côtiers augmente fortement la demande (Direction générale des prévisions et des statistiques agricoles [DGPSA], 2004 ; Faivre Dupaigre *et al.*, 2004). Bien que pratiqué en saison sèche, il nécessite moins d'eau que la riziculture ; il génère des revenus importants, améliore l'état nutritionnel des familles et fait vivre un grand nombre d'intermédiaires, notamment des femmes (Direction générale des prévisions et des statistiques agricoles [DGPSA], 2004). Cependant, les marchés sont régulièrement saturés car la demande reste limitée et les légumes sont difficiles à conserver et fragiles à transporter sur de longues distances, à l'exception des oignons et de la pomme de terre qui font ainsi l'objet d'exportations vers les pays côtiers du golfe de Guinée, dont le climat est moins favorable à ces productions. La main-d'œuvre nécessaire et le coût des cultures (semences, engrais, produits phytosanitaires) sont aussi pénalisants. Le maraîchage, qui devrait se développer à moyen terme avec l'urbanisation, reste donc une solution encore limitée en termes de surfaces. C'est un secteur à risque pour les paysans du fait de la saturation des marchés locaux et des entraves à la libre circulation des marchandises, accentuées par les passages de frontières, qui sont la cause de fortes fluctuations de prix (Rigourd *et al.*, 2002).

Les problèmes de transport expliquent aussi que les périmètres irrigués sahéliens, souvent éloignés des grandes villes, n'aient pas vu se développer une production laitière intensive reposant sur des fourrages irrigués, comme cela a été le cas au Maroc (Sraïri *et al.*, 2011). Ils ont en revanche permis, à travers la disponibilité de sous-produits comme la paille et le son de riz, la survie (dans les années 1983-1984), puis le développement, d'un élevage d'embouche et d'une production laitière à commercialisation locale (Duteurtre *et al.*, 2010).

À plus ou moins court terme, l'augmentation du prix mondial de l'énergie se répercutera sur le coût des pompes, thermiques ou électriques. Dans un premier temps, les interconnexions en cours entre pays sahéliens et pays côtiers devraient permettre aux premiers de bénéficier de ressources énergétiques moins coûteuses, comme le gaz naturel. Mais ces énergies fossiles s'épuiseront à moyen terme. Les nouveaux barrages hydroélectriques programmés devraient pouvoir fournir de l'énergie à meilleur marché. Ils sont utilisés en priorité pour alimenter les grandes villes, mais on constate aussi que le pompage s'électrifie dans les périmètres irrigués dès que cela est possible. L'électricité d'origine solaire, qui pourrait être utilisée pour les petites stations de pompage isolées, l'est encore très peu, malgré un potentiel naturel élevé, du fait de coûts d'investissement hors de portée des acteurs locaux et d'une fiabilité encore faible en conditions difficiles (Betaleb, 2004).

## Performances sociales et durabilité

Les performances des périmètres irrigués ne peuvent pas être uniquement jugées en termes techniques et économiques. Nous avons choisi quelques indicateurs qui permettent aussi d'illustrer le niveau de participation sociale, de dynamique de développement et de durabilité des différents types d'irrigation (*tableau 4*). Les périmètres en MTE nécessitent une forte participation et coordination des usagers pour gérer un calendrier d'irrigation et assurer l'entretien des canaux. Assurer cette gestion est plus facile sur les périmètres individuels. Les périmètres en MPE nécessitent moins d'entretien et aucun tour d'eau ; ils requièrent donc peu ou pas d'action collective.

La durabilité de certains aménagements est problématique : faute d'entretien courant suffisant, grands ou petits aménagements en MTE doivent être régulièrement réhabilités. Néanmoins, la taille influence cet entretien car, pour les grands aménagements, les gestionnaires le confient souvent à des entreprises. Les aménagements en MPE, proches des cours

d'eau, sont vulnérables aux risques de dégâts provoqués par les crues. De même, les aménagements de bas-fonds, encore moins élaborés, sont vulnérables aux aléas naturels.

Pour que l'irrigation soit durable, il ne faut pas qu'elle engendre de dégradation à l'environnement et, en premier lieu, aux sols. En effet, les plus grands dangers, communs à la plupart des zones arides, sont la salinisation et l'alcalinisation des sols (Umali, 1993). Ces risques concernent ainsi aussi bien de grands aménagements comme ceux de l'Office du Niger et du delta du Sénégal, que des périmètres de taille plus modeste comme ceux situés au Niger (Poussin et Boivin, 2002 ; Marlet et N'Diaye, 2002 ; Barbiero *et al.*, 2005). Une solution est d'améliorer le drainage pour évacuer les sels. Mais cela impose d'aménager un réseau de drainage fonctionnel, voire d'installer une station d'exhaure lorsque l'irrigation est gravitaire. Les petits périmètres ne sont pas épargnés par ce type de problème, même s'ils sont souvent situés sur des sols de bourrelet de berge ou de terrasse, plus filtrants (Marlet *et al.*, 1996).

Les impacts de l'irrigation sur les zones humides naturelles constituent un autre problème environnemental de plus en plus sensible. En effet, les systèmes en MPE occupent les cuvettes humides et les transforment radicalement. En revanche, les petits périmètres en MTE sont situés le plus souvent en bordure des cuvettes et ont donc moins d'impact. Les barrages construits pour réguler les fleuves inondent des zones humides en amont et diminuent l'amplitude des crues en aval. Mais ces barrages ayant le plus souvent la production hydroélectrique comme fonction principale et prioritaire, on ne peut rendre l'irrigation seule responsable de leurs impacts environnementaux.

Enfin, les différents aménagements hydroagricoles sont également porteurs de risques sanitaires puisqu'ils favorisent la prolifération de vecteurs de diverses maladies (paludisme, schistosomiase, etc.). En contrepartie, l'irrigation engendre une amélioration du niveau de vie, ce qui permet de limiter ces risques à condition de mettre en œuvre des programmes de lutte adaptés au nouveau contexte irrigué (Audibert et Etard, 2002 ; Parent *et al.*, 2002 ; Boelee *et al.*, 2009), dont

**Tableau 4. Évaluation qualitative à dire d'experts d'indicateurs sociaux et de durabilité pour différents systèmes irrigués au Sahel.**

Table 4. Expert-based qualitative evaluation of social and sustainability indicators for different irrigated systems in the Sahel.

Type de système	Participation des usagers	Dynamique actuelle	Durabilité infrastructures	Problèmes de sols	Impact zones humides	Ravageurs
Périmètre irrigué public grand ou moyen	+	++	-	+	+	++
Périmètre irrigué villageois public	++	+	-	=	++	++
Petit périmètre irrigué communautaire	++	=	+	=	++	++
Petit périmètre irrigué individuel	++	++	++	=	+	++
Petit ou moyen périmètre irrigué commercial	++	++	++	=	+	++
Grand périmètre irrigué agro-industriel	++	++	=	=	++	++
Décrue	=	-	-	=	=	++
Submersion contrôlée en bord de fleuve	+	-	-	=	++	+
Bas-fonds en submersion contrôlée	+	++	=	+	++	+

++ : très important ; + : important ; = moyen ; - : faible ; - : très faible.

l'impact environnemental doit aussi être pris en compte.

## Conclusion

Les systèmes irrigués du Sahel recouvrent un ensemble très varié de pratiques d'aménagement et de mise en valeur. Avec les évolutions climatiques et les aménagements en cours, les formes de maîtrise de l'eau les plus coûteuses en investissement, en intrants et en travail vont être favorisées, tandis que les valorisations traditionnelles de l'eau, plus extensives, devraient continuer à reculer. Si le choix de la riziculture, fortement consommatrice d'eau, a souvent été critiqué, les solutions alternatives restent cependant limitées en termes de marchés. Seul le maraîchage de saison sèche a pris une part significative en termes de revenus et d'emploi, mais il ne couvre encore que de petites surfaces et les marchés sont encore étroits et soumis à des difficultés de transport importantes. La canne à sucre et les biocarburants font l'objet

de grands projets, mais peu se sont concrétisés pour l'instant : entre effets d'annonce, accaparement des terres et jeux politiques, leur concrétisation dans une production effective reste problématique.

L'avenir des systèmes irrigués sahéliens est encore incertain, mais de grandes lignes se dessinent. Les grands périmètres connaissent de nouvelles évolutions, notamment au Sénégal et au Mali, avec le développement de l'agro-industrie. Les petits périmètres privés sont aussi en pleine extension, spontanément et avec l'appui des gouvernements et de la Banque mondiale (Sonou et Abéric, 2010). Les modèles à faible maîtrise de l'eau régressent partout : la culture de décrue est peu à peu remplacée par des formes d'irrigation ; l'irrigation en maîtrise partielle de l'eau en bordure des fleuves stagne ou régresse. En revanche, la culture des bas-fonds se développe fortement, surtout dans les zones de savanes, aussi bien en hivernage (riziculture inondée) qu'en saison sèche (maraîchage sur nappe).

Les choix futurs d'aménagements hydrauliques sont surtout guidés par

des considérations non agricoles, comme les besoins urgents de la sous-région en énergie. La régulation des débits opérée par les barrages hydroélectriques de Manantali sur le Sénégal et de Sélingué sur le Niger, se renforcera et favorisera l'extension de l'irrigation en saison sèche. Elle va aussi contribuer à faire reculer les cultures et les pâturages de décrue, déjà affectés par les évolutions climatiques. La nature et l'importance des investissements dans l'irrigation annoncés par certains pays vont être déterminantes : orientation vers des cultures énergétiques (bioéthanol à partir de la canne à sucre, pourghère) ou vers des cultures alimentaires, et dans ce dernier cas, destinées au marché local ou à la sécurité alimentaire des pays investisseurs ?

L'avenir de l'irrigation au Sahel sera d'abord porté par les dynamiques rurales, car les agricultures familiales assurent encore la quasi-totalité de la production céréalière et maraîchère irriguée. Mais il va aussi être déterminé par de puissants changements en cours : forte croissance urbaine induisant des demandes alimentaires en



augmentation rapide et qui évolue vers une plus grande consommation de fruits, de légumes et de produits animaux – lait et viande (Paillard et al., 2010) ; déficits énergétiques très importants poussant à l'aménagement et à la régulation des fleuves (Niasse, 2004) ; acquisitions foncières massives par de grandes sociétés privées et des États étrangers (Brondeau, 2011) ; et enfin changements climatiques, dont l'orientation pluviométrique reste très incertaine au Sahel, où les très fortes irrégularités interannuelles sont difficilement prévues par les modèles (Hulme et al., 2001), tandis que le recul de la végétation arborée au profit des cultures augmente les volumes écoulés et la précocité des crues (Mahé, 2006). La capacité des petits paysans, disposant d'un capital très faible, à maintenir et développer leur activité irriguée dans ce contexte, favorable en termes de marchés mais de plus en plus concurrentiel et risqué, dépendra en grande partie des politiques agricoles, énergétiques et foncières que mettront en œuvre leurs gouvernements, mais aussi des moyens financiers que les grandes institutions internationales (gouvernementales et non gouvernementales) pourront mobiliser pour permettre à ces politiques de rester orientées, au moins en partie, vers les petits paysans et les différentes formes d'irrigation qu'ils pratiquent. ■

## Références

- Abernethy CL, Sally MH, 1999. Experiences of some government-sponsored organisations of irrigators in Niger and Burkina Faso, West Africa. In : Abernethy CL, Heim F, eds. *Irrigators' organisations : Government actions towards effective irrigators' organisations*. Feldafing (Germany) : German Foundation for International Development.
- ABN, 2007. *Élaboration du Plan d'Action de Développement Durable. Phase 2 : schéma directeur d'aménagement et de gestion*. Niamey : ABN. [http://www.cru-bn.org/ml/dossiers/A%20Pages%20de%204543\\_PADD\\_Phase%202\\_FR\\_v2.pdf](http://www.cru-bn.org/ml/dossiers/A%20Pages%20de%204543_PADD_Phase%202_FR_v2.pdf).
- Adamczewski A, Hertzog T, Dosso M, Jouve P, Jamin JY, 2011. L'irrigation peut-elle se substituer aux cultures de décrue ? La dépression du lac Horo (Nord Mali). *Cah Agric* 20 : 97-104. doi : 10.1684/agr.2011.0469.
- Ahmadi N, Teme B, eds, 1998. *Aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali. Bilan et perspectives nationales, intérêt pour la zone de savane ouest-africaine*. Actes du séminaire de Sikasso, Mali, 21-25 octobre 1996. Montpellier : Cirad éditions.
- Aquastat, 2010. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexfra.stm>.
- ARID, 2004. *Typologie des systèmes irrigués en Afrique de l'Ouest sahélienne*. Projet Appia. Ouagadougou : ARID. [http://www.arid-afrique.org/IMG/pdf/Typologie\\_des\\_systemes\\_irrigues\\_AO\\_.pdf](http://www.arid-afrique.org/IMG/pdf/Typologie_des_systemes_irrigues_AO_.pdf).
- Audibert M, Etard JF, 2002. Bénéfices économiques d'un investissement en santé au Mali. *Cah Agric* 11 : 75-80.
- Barbier EB, Thompson JR, 1998. The value of water: floodplain versus large-scale irrigation benefits in Northern Nigeria. *Ambio* 27 : 434-40.
- Barbiero L, Mohamedou AO, Roger L, Furian S, Aventurier A, Rémy JC, et al., 2005. The origin of vertisols and their relationship to acid sulfate soils in the Senegal valley. *Catena* 59 : 93-116.
- Bélières JF, Hilhorst T, Kébé D, Keita MS, Keita S, Sanogo O, 2011. Irrigation et pauvreté : le cas de l'Office du Niger au Mali. *Cah Agric* 20 : 144-9. doi : 10.1684/agr.2011.0473.
- Betaleb N, 2004. L'électrification rurale décentralisée dans le Sud. *Vertigo* 5. <http://vertigo.revues.org/3910>.
- Bethemont J, Faggi P, Zoungana T, 2003. *La vallée du Sourou, Genèse d'un territoire hydraulique dans l'Afrique soudano-sahélienne*. Paris : L'Harmattan.
- Boelee E, Cecchi P, Kone A, 2009. *Health impacts of small reservoirs in Burkina Faso*. IWMI Working Paper 136. Colombo (Sri Lanka) : IWMI.
- Bonneval P, Kuper M, Tonneau JP, 2002. *L'Office du Niger grenier à riz du Mali : Succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement*. Montpellier ; Paris : Cirad éditions ; Karthala.
- Boutillier JL, Cantrelle P, Causse J, Laurent C, N'Doye T, 1962. *La moyenne vallée du Sénégal. Etude socio-économique*. Paris : PUF.
- Brondeau F, 2011. L'agrobusiness à l'assaut des terres irriguées de l'Office du Niger (Mali). *Cah Agric* 20 : 136-43. doi : 10.1684/agr.2011.0472.
- Carney JA, 2001. *Black rice : the African origins of rice cultivation in the Americas*. Cambridge (Massachusetts) : Harvard University Press.
- Carney JA, 2003. The African antecedents of Uncle Ben in U.S. rice history. *Journal of Historical Geography* 29 : 1-21.
- CILSS, 2010. *Déclaration des chefs d'État et de gouvernement du CILSS relative à la coalition mondiale sur l'eau au Sahel*. N'Djamena. [http://www.cilss.bf/IMG/pdf/declaration\\_cetat.pdf](http://www.cilss.bf/IMG/pdf/declaration_cetat.pdf).
- Compaoré ML, Blanchet B, Rigourd C, Hermiteau I, 2002. Vers une professionnalisation des fonctions hydrauliques des périmètres irrigués en Afrique de l'Ouest. *Sud Sciences et Technologies* (28) : 28-40.
- Coulibaly YM, Bélières JF, Koné Y, 2006. Les exploitations agricoles familiales du périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali : évolutions et perspectives. *Cah Agric* 15 : 562-9. doi : 10.1684/agr.2006.0024.
- Direction générale des prévisions et des statistiques agricoles (DGPSA), 2004. *Formulation d'une méthodologie pour l'enquête maraichère au Burkina Faso. Campagne 2004-2006*. Ouagadougou : ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources halieutiques. [http://www.insd.bf/fr/IMG/pdf/Enquete\\_maraichere\\_2004-2007.pdf](http://www.insd.bf/fr/IMG/pdf/Enquete_maraichere_2004-2007.pdf).
- Diemer G, van der Laan E, 1987. *L'irrigation au Sahel*. Paris ; Wageningen : Karthala ; CTA.
- Dillon A, 2008. *Access to irrigation and the escape from poverty. Evidence from Northern Mali*. IFPRI Discussion Paper 782. Washington (DC) : IFPRI. <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp00782.pdf>.
- Diouf J, 2008. Discours d'ouverture de la conférence « L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique : les défis du changement climatique », Syrte (Libye), 15-17 décembre 2008. <http://www.fao.org/news/story/fr/item/8954/icode/>.
- Ducrot R, Zaslavsky J, Magassa H, 2002. Dynamismes et contraintes du développement de la petite irrigation, cas du delta intérieur du Niger. In : Orange D, Arfi R, Kuper M, Morant P, Poncet Y, eds. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones tropicales inondables*. Paris : IRD éditions.
- Duteurtre G, Alary V, Ancey V, Corniaux C, Dieye PN, Gautier D, Ninot O, Vatin F, 2010. Accès aux marchés et développement de l'élevage en Afrique : la construction sociale des liens marchands. Quatrième journées Sciences sociales SFER-INRA-CIRAD, Rennes, 9-10 décembre 2010. <http://www.sfer.asso.fr/content/download/3696/32875/file/B4%20-%20Duteurtre%20et%20al%20final.pdf>.
- Faivre Dupaigne B, Baris P, Liagre L, 2004. *Étude sur la compétitivité des filières agricoles dans l'espace UEMOA*. Ouagadougou : UEMOA.
- Frenken K, ed, 2005. *L'irrigation en Afrique en chiffres. Enquête Aquastat 2005*. Rome : FAO.
- Gallais J, 1984. *Hommes du Sahel, espace-temps et pouvoir, le delta intérieur du Niger*. Paris : Flammarion.
- Guillaume M, 1960. Les aménagements hydro-agricoles de riziculture et de culture de décrue dans la vallée du Niger. *Agro Trop* 15 : 73-91, 133-187, 273-319, 390-413.
- Haefele SM, Wopereis MCS, Donovan C, Maubuisson J, 2001. Improving the productivity and profitability of irrigated rice production in Mauritania. *Europ J Agronomy* 14 : 181-96.
- Hulme M, Doherty R, Ngara T, New M, Lister D, 2001. African climate change : 1900-2100. *Clim Res* 17 : 145-68.
- IIMI, 1997. *Projet management de l'irrigation au Niger : rapport final de synthèse*. Niamey : IIMI. <http://publications.iwmi.org/pdf/H05369.pdf>.
- Inocencio A, Kikuchi M, Tonosaki M, Maruyama A, Merrey D, Sally H, et al., 2007. *Costs and performance of irrigation projects : a comparison of sub-Saharan Africa and other developing regions*. IWMI Research Report 109. Colombo (Sri Lanka) : IWMI.
- IPTRID, 2004. *Identification et diffusion de bonnes pratiques sur les périmètres irrigués en Afrique de l'Ouest*. Rome : FAO.
- Jamin JY, 1994. *De la norme à la diversité : l'intensification rizicole face à la diversité paysanne dans les périmètres irrigués de l'Office du Niger*. Thèse de doctorat, Paris, INA-PG. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00408411/fr/>.
- Jamin JY, Bisson P, Fusillier JL, Kuper M, Maraun F, Perret S, et al., 2005. La participation des usagers à la gestion de l'irrigation : des mots d'ordre aux réalités dans les pays du Sud. Colloque Irrigation et développement durable, 2005-05-19, Paris. *Les colloques de l'Académie d'agriculture de France* 91 : 65-83.
- Janin P, 2010. La lutte contre l'insécurité alimentaire au Sahel : permanence des questionnements et évolution des approches. *Cah Agric* 19 : 177-84. doi : 10.1684/agr.2010.0393.

- Keïta N, Bélières JF, Sidibé, 2002. Extension de la zone aménagée de l'Office du Niger : exploitation rationnelle et durable des ressources naturelles au service d'un enjeu national de développement. In : Orange D, Arfi R, Kuper M, Morant P, Poncet Y, eds. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones tropicales inondables*. Paris : IRD éditions.
- Legoupil JC, Dancette P, Maïga IM, N'Diaye KM, 1999. *Pour un développement durable de l'agriculture irriguée dans la zone soudano-sahélienne : synthèse des résultats du pôle régional de recherche sur les systèmes irrigués*. Dakar (Sénégal) : PSI/ CORAF.
- Lemoalle J, de Condappa D, 2009. *Atlas de l'eau du bassin de la Volta*. Colombo ; Marseille : CPWF ; IRD éditions.
- Mahé G, 2006. The impact of land-use/land-cover change and climate variability on the hydrology of the Sahel. In : Demuth S, Gustard A, Planos E, Scatena F, Servat E, eds. *Climate variability and change – Hydrological impacts*. Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference. Publ. AISH 308. Wallingford (Great Britain) : AISH.
- Marie J, Morant P, N'Djim H, eds, 2007. *Avenir du fleuve Niger*. Paris : IRD éditions.
- Marlet S, N'Diaye MK, 2002. La fertilité des sols. Des risques d'alcalinisation liés à l'irrigation et aux pratiques culturales. In : Kuper M, Tonneau JP, Bonneval, eds. *L'Office du Niger, grenier à riz du Mali : succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement*. Montpellier : Cirad éditions.
- Marlet S, Vallès V, Barbiero L, 1996. Field study and simulation of geochemical mechanisms of soil alkalization in the sahelian zone of Niger. *Arid Soil Research and Rehabilitation* (10) : 243-56.
- Niasse M, 2004. Prévenir les conflits et promouvoir la coopération dans la gestion des fleuves transfrontaliers en Afrique de l'Ouest. *VertigO* 5. <http://vertigo.revues.org/3979>.
- Nkonya E, Philip D, Mogues T, 2008. *From the ground up : Impacts of a Pro-poor community-driven development project in Nigeria*. Discussion Paper 756. Washington (DC) : IFPRI.
- Ouedraogo M, 2003. *Les nouveaux acteurs et la promotion des activités agro-sylvopastorales dans le sud du Burkina Faso : Faux départ ou inexpérience ?* Issue paper. Londres : IIED.
- Paillard S, Treyer S, Dorin B, eds, 2010. *Agrimonde. Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050*. Versailles : éditions Quae.
- Parent G, Poda JN, Zagré NM, de Plaen R, Courade G, 2002. Irrigation, santé et sécurité alimentaire en Afrique : quels liens ? *Cah Agric* 11 : 9-15.
- Payen J, Gillet V, 2007. *L'irrigation informelle en Afrique de l'Ouest. Une solution ou un problème ?* Issue paper. Rome : IPTRID.
- Poussin JC, Boivin P, 2002. Performances des systèmes rizicoles irrigués sahéliens. *Cah Agric* 11 : 65-73.
- Poussin JC, Diallo Y, Legoupil JC, Sow A, 2005. Increase in rice productivity in the Senegal River valley due to improved collective management of irrigation schemes. *Agron Sustain Dev* 25 : 225-36.
- Raes D, Sy B, Feyen J, 1994. Water use in rice schemes in the Senegal River Delta and Valley. *Irrigation and Drainage Systems* 9 : 117-28.
- République du Burkina Faso, 2008. *Rapport national d'investissement. Burkina Faso*. Conférence sur l'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique : les défis du changement climatique, Syrte (Libye), 15-17 décembre 2008. <http://www.sirtewaterandenergy.org/docs/reports/BurkinaFaso-Rapport2.pdf>.
- République du Mali, 2009. *Bilan de la campagne agricoles de l'initiative riz (2008-2009). Synthèse*. Bamako : Primature. [http://www.primature.gov.ml/images/bilan\\_initiative\\_riz\\_synthese.doc](http://www.primature.gov.ml/images/bilan_initiative_riz_synthese.doc).
- République du Mali, 2008. *Rapport national d'investissement. Mali*. Conférence sur l'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique : les défis du changement climatique, Syrte (Libye), 15-17 décembre 2008. <http://www.sirtewaterandenergy.org/docs/reports/Mali-Rapport2.pdf>.
- République du Niger, 2008. *Rapport national d'investissement. Niger*. Conférence sur l'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique : les défis du changement climatique, Syrte (Libye), 15-17 décembre 2008. <http://www.sirtewaterandenergy.org/docs/reports/Niger-Rapport2.pdf>.
- Rigourd C, Hermiteau I, Nepveu de Villemarceau A, Vidal A, 2002. La riziculture irriguée en Afrique sahélienne : rompre avec le pessimisme. *Cah Agric* 11 : 59-59.
- Rosegrant MW, Cline SA, 2003. Global food security : challenges and policies. *Science* 302 : 1917-9.
- Sally H, 1997. *Améliorer les performances des périmètres irrigués*. Actes du Séminaire régional du projet Management de l'irrigation au Burkina Faso. Ouagadougou ; Colombo : IIMI, 1997.
- Schmitz J, 1993. Anthropologie des conflits fonciers et hydropolitiques du fleuve Sénégal (1975-1991). *Cah Sci Hum* 29 : 591-623.
- Seck SM, 2009. Changements institutionnels et difficultés de développement hydroagricole dans le Delta du fleuve Sénégal : nouvelles dynamiques et recompositions autour de l'irrigation. In : Dansero E, Luzzati ES, Seck M, eds. *Organisations paysannes et développement local : leçons à partir du cas du Delta du fleuve Sénégal*. Torino (Italia) : L'Harmattan Italia.
- Shettima KA, 1997. Ecology, identity, developmentalism and displacement in northern Nigeria. *Journal of Asian and African Studies* 32 : 66-80.
- Sonou M, Abric S, 2010. Capitalisation d'expériences sur le développement de la petite irrigation privée pour des productions à haute valeur ajoutée en Afrique de l'Ouest. Arnhem (Pays-Bas) : Practica ; Banque mondiale. <http://www.practica.org/wp-content/uploads/services/publications/Background%20documents/small%20scale%20irrigation%20study%20world%20bank/SSI%20study%20Rapport%20final%20-%20-%20SA310810.pdf>.
- Sraïri MT, Kuper M, Le Gal PY, 2011. Accompagnement d'exploitations laitières pour mieux valoriser l'eau d'irrigation dans la plaine du Tadla au Maroc. *Cah Agric* 20 : 60-6. doi : 10.1684/agr.2010.0462.
- Turrall H, Svendsen M, Faures JM, 2010. Investing in agriculture : reviewing the past and looking to the future. *Agr Water Manage* 97 : 551-60.
- Umali DL, 1993. *Irrigation-induced salinity : a growing problem for development and the environment*. World Bank Techn Paper 215. Washington (DC) : World Bank.
- Vandersypen K, Bengaly K, Keita ACT, Sidibé S, Raes D, Jamin JY, 2006. Irrigation performance at the tertiary level in the rice schemes of the Office du Niger (Mali) : Adequate water delivery through over-supply. *Agr Water Manage* 83 : 144-52.
- Vandersypen K, Bastiaens L, Traoré A, Diakon B, Raes D, Jamin JY, 2006. Farmers' motivation for collective action in irrigation : a statistical approach applied to the Office du Niger in Mali. *Irrigation and Drainage* 57 : 139-50.
- Venot JP, Cecchi P, 2011. Valeurs d'usage ou performances techniques : comment apprécier le rôle des petits barrages en Afrique subsaharienne ? *Cah Agric* 20 : 112-7. doi : 10.1684/agr.2010.0457.
- Vidal A, Préfol B, Tardieu H, Fernandez S, Platey J, Darghouth S, 2006. Public-private partnership in irrigation and drainage : the need for a professional third party between farmers and government. In : Perret S, Farolfi S, Hassan R. *Water governance for sustainable development*. Londres : Earthscan.
- Windmeijer PN, Dugué MJ, Jamin JY, van de Giesen N, 2002. *Présentation des caractéristiques hydrologiques de la mise en valeur des bas-fonds*. Bouaké : ADRAO.
- Zwarts L, van Beukering P, Kone B, Wymenga E, 2005. *Le Niger, une artère vitale : gestion efficace de l'eau dans le bassin du Haut Niger*. Totnes (UK) : NHBS.